

УДК 621.316.11:621.67

Гоголюк П. Ф.¹, Лисяк В.Г.²**ВПЛИВ ФУНКЦІЙ ЧАСТОТНОГО КЕРУВАННЯ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РЕЖИМІВ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПОМПОВОЇ СТАНЦІЇ**

Здійснено аналіз і порівняння ефективності усталених режимів електропостачальної системи помпової станції при застосуванні частотного керування асинхронним двигуном агрегату та традиційного керування витратою за допомогою дросельних засувки. Обґрунтовано застосування частотного керування асинхронними двигунами агрегатів великої потужності з широким діапазоном витрат робочої рідини.

Вступ

На сучасному етапі розвитку математичного моделювання відсутні ефективні моделі низки електроприймачів, які складаються з нерозривно пов'язаних між собою пристроїв різної фізичної природи з урахуванням їхніх автоматичних регуляторів. Це не дозволяє здійснювати комплексний аналіз їхніх режимів і процесів з урахуванням взаємного зв'язку, що ускладнює розроблення автоматичних систем керування (АСК) та вибір їхніх функцій керування.

Запропонована в [1] математична модель усталених режимів електропостачальної системи помпової станції надає можливість здійснювати розрахунки цих режимів, розглядаючи електричну та гідравлічну частини такої станції як єдину фізичну систему.

Метою даної роботи є порівняння результатів застосування функцій керування напругою та частотою напруги статора асинхронного двигуна агрегату асинхронний двигун – відцентрова помпа помпової станції та традиційного способу керування витратою агрегату шляхом дроселювання за допомогою математичної моделі [1].

Основна частина

Узагальнену схему електричних і гідравлічних сполучень помпової станції магістрального нафтогону зображено на рис. 1. Забір робочої рідини здійснюється з танку під незначним додатковим статичним тиском $H_{\text{доп}}$ (його зображено у вигляді окремого тиску пунктирною лінією). Послідовно працюють підпірні та основні помпи агрегатів АД-ВП₁ – АД-ВП₅. Також до складу станції входять:

- перетворювачі частоти й напруги ПЧН1 – ПЧН5;
- трансформатори агрегатів Т1 – Т5;
- трансформатор електроенергетичної системи Тс;
- поперечні пристрої компенсації реактивної потужності (в даному випадку їх не враховано).

Трансформатори, пристрої компенсації реактивної потужності, перетворювачі частоти й напруги показано в усіх можливих місцях встановлення.

Об'ємна витрата робочої рідини рівна Q_0 , тиск рідини агрегату дорівнює $pH_0(Q_0)$.

Повний виклад запропонованої в [1] математичної моделі усталених режимів електропостачальної системи помпової станції є значним за обсягом. Тому в даній статті автори обмежились перетвореними рівняннями математичної моделі усталених режимів відцентрової помпи та асинхронного двигуна, які сформовано в окремих для АД і ВП жорстко зв'язаних, відповідно, з обертовим магнітним полем статора АД d_s, q_s [2, 3, 4] та робочим колесом ВП d, q [5, 6] ортогональних координатах у відносних базових одиницях. Докладний опис усіх змінних, що входять до складу математичної моделі, наведено в [1].

¹ Національний університет “Львівська політехніка”, канд. техн. наук, доц/

² Національний університет “Львівська політехніка”, ст. викладач

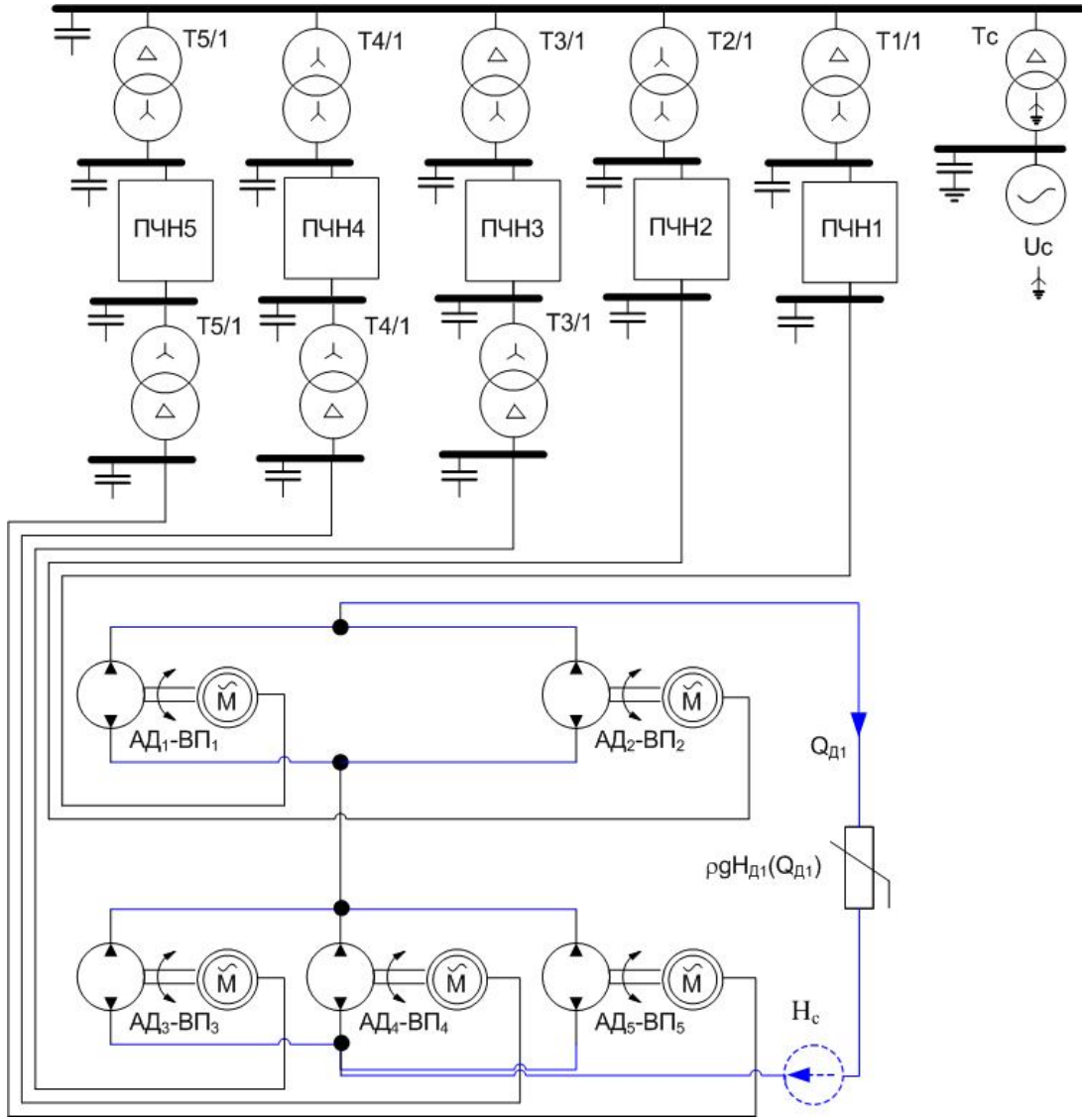


Рис. 1 – Схема електричних і гідравлічних сполучень помпової станції

Математична модель усталених режимів відцентрової помпи:

$$(R_{0ei} + R_{1ei})Q_{11di} - \omega_{ri}(X_{0ei} + X_{1ei})Q_{11qi} - R_{0ei}Q_{11di} + \omega_{ri}X_{0ei}Q_{22qi} - H_{0di} = 0; \quad (1)$$

$$\omega_{ri}(X_{0ei} + X_{1ei})Q_{11di} + (R_{0ei} + R_{1ei})Q_{11qi} - \omega_{ri}X_{0ei}Q_{22di} - R_{0ei}Q_{22qi} - H_{11qi} = 0; \quad (2)$$

$$(R_{0ei} + R_{2ei})Q_{22di} - \omega_{ri}(X_{0ei} + X_{2ei})Q_{22qi} - R_{0ei}Q_{11di} + \omega_{ri}X_{0ei}Q_{11qi} + H_{0di} = 0; \quad (3)$$

$$\omega_{ri}(X_{0ei} + X_{2ei})Q_{22di} + (R_{0ei} + R_{2ei})Q_{22qi} - \omega_{ri}X_{0ei}Q_{11di} - R_{0ei}Q_{11qi} - H_{0qi} = 0; \quad (4)$$

$$\sqrt{H_{0di}^2 + H_{0qi}^2} - \omega_{ri}^2 H_{0ni} = 0; \quad (5)$$

$$Q_{22di} - \sqrt{Q_{22di}^2 + Q_{22qi}^2} \cos(\Psi_{0Q_{22i}}) = 0; \quad (6)$$

$$H_{0qi}Q_{22di} - H_{0di}Q_{22qi} = 0. \quad (7)$$

Математична модель усталених режимів асинхронного двигуна:

$$r_{s_i} I_{sds_i} - \omega_{s_i} (L_{s_i} I_{sq s_i} + \Psi_{\delta q s_i}) - U_{sds_i} = 0; \quad (8)$$

$$r_{s_i} I_{sq s_i} + \omega_{s_i} (L_{s_i} I_{sd s_i} + \Psi_{\delta s s_i}) - U_{sq s_i} = 0; \quad (9)$$

$$r_{l_i} I_{l r d s_i} - (\omega_{s_i} - \omega_{r_i}) (L_{l_i} I_{l r q s_i} + \Psi_{\delta q s_i}) / \omega_{s_i} = 0; \quad (10)$$

$$r_{1r_i} I_{1rq_{s_i}} + (\omega_{s_i} - \omega_{r_i}) (L_{1r_i} I_{1rds_i} + \Psi_{\delta ds_i}) / \omega_{s_i} = 0 ; \quad (11)$$

$$r_{2r_i} I_{2rds_i} - (\omega_{s_i} - \omega_{r_i}) (L_{2r_i} I_{2rq_{s_i}} + \Psi_{\delta qs_i}) / \omega_{s_i} = 0 ; \quad (12)$$

$$r_{2r_i} I_{2rq_{s_i}} + (\omega_{s_i} - \omega_{r_i}) (L_{2r_i} I_{2rds_i} + \Psi_{\delta ds_i}) / \omega_{s_i} = 0 ; \quad (13)$$

$$I_{sds_i} + (I_{1rds_i} + I_{2rds_i}) - R_{mh_i} (\Psi_{\delta ds_i}, \Psi_{\delta qs_i}) \Psi_{\delta ds_i} = 0 ; \quad (14)$$

$$I_{sq_{s_i}} + (I_{1rds_i} + I_{2rds_i}) - R_{mh_i} (\Psi_{\delta ds_i}, \Psi_{\delta qs_i}) \Psi_{\delta qs_i} = 0 ; \quad (15)$$

$$U_{sds_i} - \sqrt{U_{sds_i}^2 + U_{sq_{s_i}}^2} \cos(\Psi_{oUs_i}) = 0 . \quad (16)$$

Розглянемо декілька функцій керування агрегатом АД в усталених його режимах.

Керування напругою та частотою напруги статора АД за функцією М. Костенка. Для математичної моделі АД, сформованої у відносних одиницях, функція [7] має вигляд:

$$U_{sm} U_b / U_{sn} = (\omega_s \omega_b / \omega_{sn}) \sqrt{(\Psi_{\delta d} I_{sq} - \Psi_{\delta q} I_{sd}) M_{emb} / M_{emn}} , \quad (17)$$

де U_{sm} – амплітудне значення лінійної напруги статора АД; ω_s, ω_b – відповідно частота напруги статора АД та базова частота; M_{em} – електромагнітний момент АД; i_{sdb}, i_{sqb} – струм статора АД в d_s, q_s координатах; $\Psi_{\delta d}, \Psi_{\delta q}$ – потокозчеплення від магнітного потоку повітряного проміжку АД в d_s, q_s координатах.

Керування напругою та частотою напруги статора АД за максимальним ККД АД. У цьому випадку функція керування має вигляд [8]:

$$\Psi_{\delta d}^2 + \Psi_{\delta q}^2 = (\Psi_{\delta d} I_{sq} + \Psi_{\delta q} I_{sd}) \sqrt{k_{var} / (k_a + k_{st} \omega_r^\beta)} , \quad (18)$$

де k_a, k_{st}, k_{var} – відповідно коефіцієнти втрат потужності від намагнічувального струму, в сталі магнітопроводу та змінних втрат АД; β – коефіцієнт, значення якого залежить від марки електротехнічної сталі, з якої виготовлено осердя АД, і може бути в межах (1,2..1,5).

Керування витратою агрегату АД-ВП шляхом дроселювання. Для моделювання цього випадку функція керування напругою та частотою статора АД, а також рівняння перетворювачів частоти й напруги вилучаються. Напруга й частота напруги статора АД не регулюються, а повністю визначаються параметрами інших елементів схеми. Дросельна засувка моделюється введенням у схему, що на рис. 1, послідовно з гідромережею $\rho H_1(Q_1)$ додаткового гідроопору цієї засувки R_{dod} (зображено пунктирною лінією). Внаслідок цього дійсний тиск ρH_0 агрегату буде рівним не $\rho H_1(Q_1)$, а:

$$\rho g H_0 = \rho g H_1(Q_1) + \rho g H_{dod} \quad (19)$$

Для тестових розрахунків було застосовано агрегати 1-2 (асинхронний двигун АО3-400S-6У2, відцентрова помпа 14 НДсН) та 3-5 (асинхронний двигун 4АЗМВ-1600/6000У2-5, відцентрова помпа QG 300/2/100 (б)).

З метою порівняння основних показників усталених режимів зображеної на рис. 1 електропостачальної системи помпової станції побудовано графіки залежності їхнього процентного покращення від витрати робочої рідини. Ці графіки наведені на рис. 2–4. Процентне покращення показників обчислено під час застосування керування напругою та частотою напруги статорів асинхронних двигунів у порівнянні з традиційним керуванням витратою робочої рідини шляхом дроселювання.

Графіки, відмічені ● круглими маркерами, стосуються керування напругою та частотою напруги статора АД за функцією М. Костенка.

Графіки, відмічені X - подібними маркерами, стосуються керування напругою та частотою напруги статора АД за максимальним ККД АД.

Тестовий розрахунок множини усталених режимів помпової станції, що на рис. 1, здійснювався шляхом зміни витрати Q_d у межах від $0,15 Q_{Дном}$ до $1,00 Q_{Дном}$ за умови підтримання номінального тиску $\rho g H_{Дном}$. Зазначеної зміни витрати робочої рідини досягалось:

- 1 – керуванням напругою та частотою напруги статора АД за функцією М. Костенка;
- 2 – керуванням напругою та частотою напруги статора АД за максимальним ККД АД;
- 3 – традиційним керуванням витратою робочої рідини агрегату АД – ВП шляхом маніпуляцій з дросельною засувкою.

Отримані результати виявляють значне покращення показників усталених режимів електропостачальної системи помпової станції.

З метою їхньої узагальненої оцінки було порівняно середні значення цих показників на досліджуваному діапазоні витрат робочої рідини.

У випадку застосування будь-якої з досліджених функції керування напругою та частотою напруги статорів асинхронних двигунів спостерігається значне покращення показників усталених режимів. При зниженні витрати робочої рідини у середньому на досліджуваному діапазоні:

- коефіцієнт корисної дії ЕПС помпової станції зростає на 75,7 %;
- споживана активна потужність ЕПС помпової станції зменшується на 26,8 %;
- коефіцієнт потужності $\cos(\varphi)$ ЕПС помпової станції зростає на 16,5 % і стабілізується в межах 0,89-0,93 в усьому діапазоні витрат.

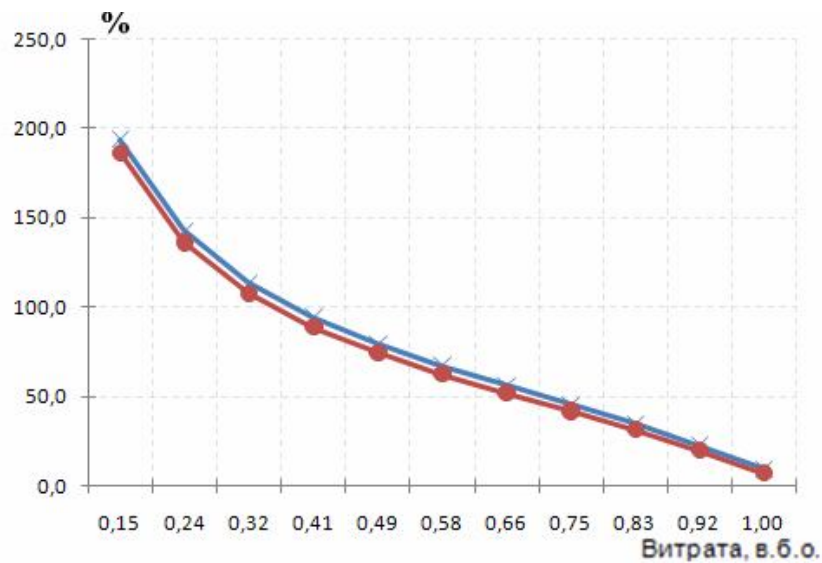


Рис. 2 – Процентне збільшення коефіцієнта корисної дії ЕПС помпової станції

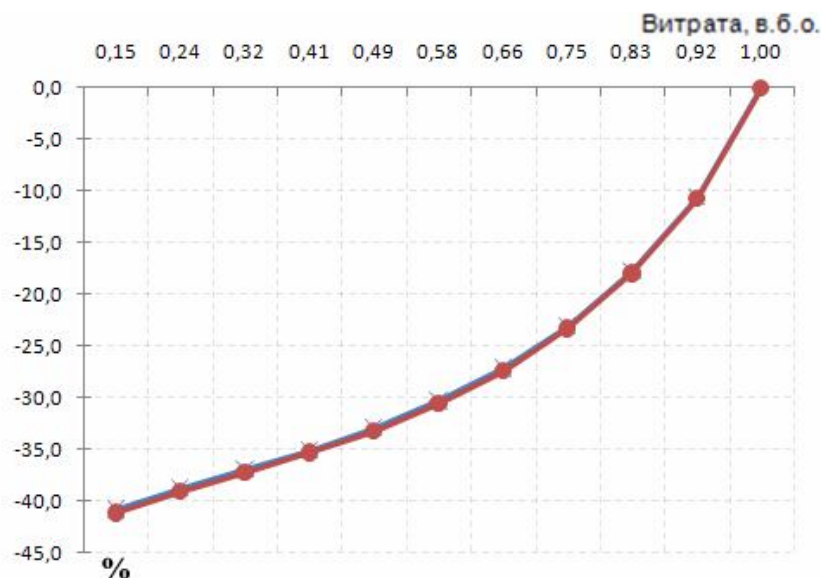


Рис. 3 – Процентне зменшення споживаної активної потужності ЕПС помпової станції

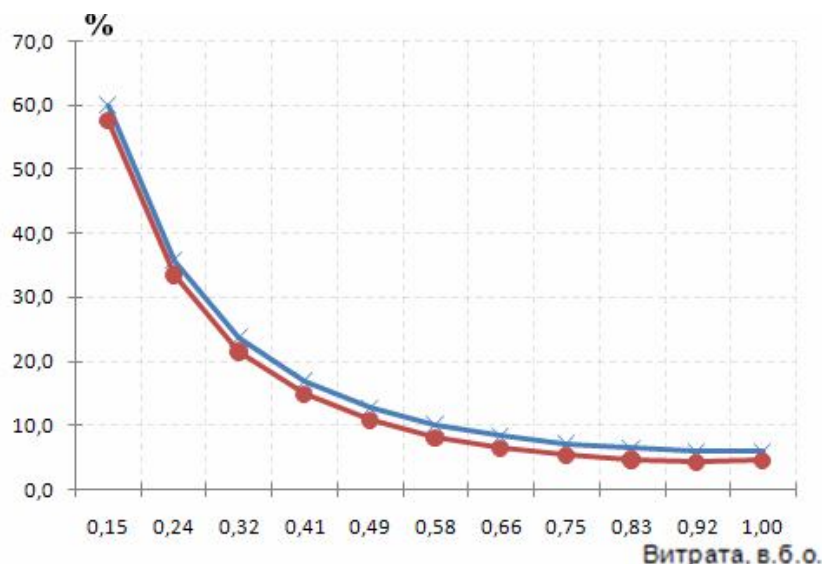


Рис. 4 – Процентне збільшення коефіцієнта потужності $\cos(\varphi)$ ЕПС pompової станції

Висновки

Здійснено аналіз і порівняння результатів застосування функцій керування напругою та частотою напруги статора асинхронного двигуна агрегату асинхронний двигун – відцентрова pompa pompової станції та традиційного способу керування витратою агрегату шляхом дроселювання.

Частотне керування витратами агрегатів АД-ВП значно підвищує ККД і коефіцієнт потужності станції. Разом зі значним зниженням напруг статорів асинхронних двигунів це призводить до зменшення споживання активної та реактивної потужностей у всьому діапазоні витрат, а особливо – при їхніх низьких значеннях. Крім того, стабілізується в межах номінального значення $\cos(\varphi)$, що значно спрощує задачу компенсації реактивної потужності.

Значна економія електроенергії, відчутне зменшення негативного впливу на електромережу обґрунтовують застосування в електропостачальних системах pompових станцій частотного керування асинхронними двигунами агрегатів великої потужності, що працюють з широким діапазоном витрат робочої рідини.

Перелік посилань

1. Лисяк В.Г. Математичне моделювання усталених режимів електропостачальної системи pompової станції / В.Г. Лисяк // Технічна електродинаміка. – 2008. – № 2. – С. 43-50
2. Фильц Р.В. Математические основы теории электромеханических преобразователей / Р.В. Фильц. – К.: Наук. думка, 1979. – 208 с.
3. Применение аналоговых вычислительных машин в энергетических системах / Под ред. Н.И. Соколова. – М.: Энергия, 1970. – 400 с.
4. Сипайлов Г.А. Математическое моделирование электрических машин / Г.А. Сипайлов, А.В. Лоос. – М.: Высш. шк., 1980. – 176 с.
5. Костишин В.С. Моделювання режимів роботи відцентрових насосів на основі електрогидравлічної аналогії / В.С. Костишин. – Івано-Франківськ: Факел, 2000. – 163 с.
6. Gogolyuk P. Mathematical Modeling of Steady-State Modes of Induction Motor-Centrifugal Pump Combination with Pump Hydraulic Tracts Combined Connection / P. Gogolyuk, V. Lysiak, V. Kostyshyn // Proc. of the XIII International Symposium of Theoretical Electrical Engineering. – Lviv, Ukraine, 2005. – P. 353-356.
7. Костенко М.П. Электрические машины / М.П. Костенко, Л.М. Пиотровский. – Л.: Энергия, 1973. – Ч. 2. – 648 с.
8. Ильинский Н.Ф. Энергосбережение в электроприводе / Н.Ф. Ильинский, Ю.В. Рожанковский, А.О. Горнов. – М.: Высш. шк., 1989. – 127 с.

Рецензент: Л.О. Никонець,
д-р техн. наук, проф.,
НУ "Львівська політехніка"

Стаття надійшла 15.02.2008